

#3 Priority Paper  
800 5-125

Docket No. 837.1196/JDH

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

jc612 U.S. PTO  
09/256079  
02/24/99

In re Application of:

Yumiko KAWASAKI, et al.

Serial No.: To Be Assigned

Filed: February 24, 1999

For: METHOD FOR OPTICAL FIBER COMMUNICATION, AND DEVICE AND  
SYSTEM FOR USE IN CARRYING OUT THE METHOD

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN  
APPLICATION IN ACCORDANCE  
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. §1.55**

*Assistant Commissioner of Patents  
Washington, D.C. 20231*

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. §1.55, Applicant(s) submit(s) herewith  
a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No. 10-068385, filed March 18, 1998.

It is respectfully requested that Applicant(s) be given the benefit of the foreign filing date  
as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements of 35  
U.S.C. §119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY

By:

  
James D. Halsey, Jr.  
Registration No. 22,729

700 Eleventh Street, N.W.  
Suite 500  
Washington, D.C. 20001  
(202) 434-1500  
Date: February 24, 1999

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

Jc612 U. S. PTO  
09/256079  
02/24/99

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
る事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
in this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application:

1998年 3月18日

願 番 号  
Application Number:

平成10年特許願第068385号

願 人  
Applicant(s):

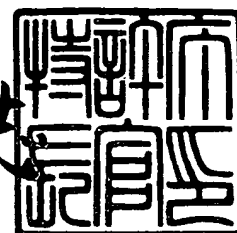
富士通株式会社

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

1998年 9月11日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

山 建 志 佐 平



【書類名】 特許願

【整理番号】 9706521

【提出日】 平成10年 3月18日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02F 1/00

【発明の名称】 光ファイバ通信のための方法並びに該方法の実施に使用  
される装置及びシステム

【請求項の数】 16

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通  
株式会社内

    【氏名】 河崎 由美子

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通  
株式会社内

    【氏名】 山根 一雄

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通  
株式会社内

    【氏名】 津田 高至

【発明者】

    【住所又は居所】 北海道札幌市中央区北一条西2丁目1番地 富士通北海  
道デジタル・テクノロジー株式会社内

    【氏名】 岡野 悟

【特許出願人】

    【識別番号】 000005223

    【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100075384

【住所又は居所】 東京都港区赤坂六丁目10番8号 ティーアイケイビル  
3階松本国際特許事務所

【弁理士】

【氏名又は名称】 松本 昂

【電話番号】 03-3582-7477

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 001764

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9704374

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバ通信のための方法並びに該方法の実施に使用される装置及びシステム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 (a) チャープパラメータにより決定されるチャープピングを有する光信号を光ファイバ伝送路へ送出するステップと、

(b) 上記光ファイバ伝送路により伝送された光信号を電気信号に変換するステップと、

(c) 上記電気信号の符号誤りを検出するステップと、

(d) 上記検出された符号誤りが減少するように上記チャープパラメータを制御するステップとを備えた方法。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の方法であって、

上記ステップ (d) は上記チャープパラメータの正負を切り換えるステップを含む方法。

【請求項 3】 請求項 2 に記載の方法であって、

上記ステップ (a) はマツハツェンダ型光変調器を用いた光変調により上記光信号を生成するステップを含み、

上記ステップ (d) は上記マツハツェンダ型光変調器の動作点を切り換えるステップを含む方法。

【請求項 4】 請求項 1 に記載の方法であって、

上記ステップ (a) は上記検出された符号誤りが最も少なくなるように上記チャープパラメータを最適値に調節するステップを含む方法。

【請求項 5】 請求項 4 に記載の方法であって、

上記ステップ (a) は電界吸収型光変調器を用いた光変調により上記光信号を生成するステップを含み、

上記ステップ (d) は上記電界吸収型光変調器に与えられるバイアス電圧を変化させるステップを含む方法。

【請求項 6】 請求項 1 に記載の方法であって、

上記ステップ (a) は伝送データ符号に冗長符号を付加して得られる変調信号

に基づく光変調により上記光信号を生成するステップを含み、

上記方法は上記冗長符号に基づき上記電気信号の符号誤りを訂正するステップを更に備え、

上記ステップ(c)は上記電気信号の符号誤りの訂正をカウントするステップを含む方法。

【請求項7】 第1及び第2の端局装置と、

該第1及び第2の端局装置間に敷設される光ファイバ伝送路とを備え、

上記第1の端局装置は、チャープパラメータにより決定されるチャープピングを有する光信号を上記光ファイバ伝送路へ送出する光送信機と、制御信号に従って上記チャープパラメータを制御する制御ユニットとを備えており、

上記第2の端局装置は、上記光ファイバ伝送路により伝送された光信号を電気信号に変換する光受信機と、上記電気信号の符号誤りを検出するモニタユニットと、上記検出された符号誤りに関する監視情報を上記第1の端局装置へ伝送するための手段とを備えており、

それにより、上記検出された符号誤りが減少するように上記第1の端局装置において上記制御信号が生成されるシステム。

【請求項8】 請求項7に記載のシステムであって、

上記光送信機は、連続波(CW)光を出力する光源と、上記CW光を変調して上記光信号を生成するマッハツェンダ型光変調器とを備えており、

上記制御ユニットは上記マッハツェンダ型光変調器の動作点を切り換える手段を含み、それにより上記チャープパラメータの正負が切り換えられるシステム。

【請求項9】 請求項7に記載のシステムであって、

上記光送信機は、連続波(CW)光を出力する光源と、上記CW光を変調して上記光信号を生成する電界吸収型光変調器とを備えており、

上記制御ユニットは、上記電界吸収型光変調器に与えられるバイアス電圧を変化させる手段を含み、それにより、上記検出された符号誤りが最も少なくなるように上記チャープパラメータが最適値に調節されるシステム。

【請求項10】 請求項7に記載のシステムであって、

上記光送信機は、連続波(CW)光を出力する光源と、伝送データ符号に冗長

符号を付加して変調信号を生成するエンコーダと、上記変調信号に基づき上記CW光を変調して上記光信号を生成する光変調器とを備えており、

上記光受信機は、上記冗長符号に基づき上記電気信号の符号誤りを訂正するデコーダを含み、

上記モニタユニットは上記電気信号の符号誤りの訂正をカウントする手段を含むシステム。

【請求項11】 請求項7に記載のシステムであって、

上記第1の端局装置は上記光送信機から出力される光信号を増幅する光増幅器を更に備えているシステム。

【請求項12】 請求項7に記載のシステムであって、

上記第2の端局装置は上記光受信機が受ける光信号を増幅する光増幅器を更に備えているシステム。

【請求項13】 請求項7に記載のシステムであって、

上記光ファイバ伝送路は1.55  $\mu\text{m}$ に近い零分散波長を有する分散シフトファイバによって提供されるシステム。

【請求項14】 請求項7に記載のシステムであって、

上記光ファイバ伝送路は1.3  $\mu\text{m}$ に近い零分散波長を有するシングルモードファイバによって提供されるシステム。

【請求項15】 請求項14に記載のシステムであって、

上記第1の端局装置は、上記光ファイバ伝送路で生じる波長分散を補償するための分散補償ファイバと、上記光送信機から出力される光信号を増幅する光増幅器とを更に備えているシステム。

【請求項16】 チャープパラメータにより決定されるチャープングを有する光信号を光ファイバ伝送路へ送出する光送信機と、

上記光ファイバ伝送路により伝送された光信号に関連して検出される符号誤りに関する監視情報を受ける手段と、

上記監視情報に基づき上記検出された符号誤りが減少するように上記チャープパラメータを制御する手段とを備えた端局装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、一般的に、光ファイバにおける波長分散及び非線形性の補償に関し、更に詳しくは、光ファイバにおける波長分散及び非線形性を補償した光ファイバ通信のための方法並びにその方法の実施に使用される装置及びシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】

低損失なシリカ光ファイバが開発されたことにより、光ファイバを伝送路として用いる光ファイバ通信システムが数多く実用化されてきた。光ファイバそれ自体は極めて広い帯域を有している。

【0003】

しかしながら、光ファイバによる伝送容量は実際上はシステムデザインによって制限される。最も重要な制限は、光ファイバにおいて生じる波長分散による波形歪みに起因する。

【0004】

光ファイバはまた例えば約  $0.2 \text{ dB/km}$  の割合で光信号を減衰させるが、この減衰による損失は、エルビウムドープファイバ増幅器 (EDFA) をはじめとする光増幅器の採用によって補償されてきた。EDFAは、シリカ光ファイバが最低損失を与える  $1.55 \mu\text{m}$  帯に利得帯域を有している。

【0005】

しばしば単純に分散と称される波長分散は、光ファイバ内における光信号の群速度が光信号の波長（又は周波数）の関数として変化する現象である。例えば標準的なシングルモードファイバにおいては、 $1.3 \mu\text{m}$  よりも短い波長に対しては、より長い波長を有する光信号がより短い波長を有する光信号よりも速く伝搬し、その結果としての分散は、通常、正常分散と称される。この場合、分散（単位は  $\text{ps/nm/km}$ ）は負の値となる。 $1.3 \mu\text{m}$  よりも長い波長に対しては、より短い波長を有する光信号がより長い波長を有する光信号よりも速く伝搬し、その結果としての分散は異常分散と称される。この場合、分散は正の値をとる



【0006】

近年、EDFAの採用による光信号パワーの増大に起因して、光ファイバの非線形性が注目されている。伝送容量を制限する最も重要な非線形性は光ファイバで生じる光カー効果である。光カー効果は光ファイバの屈折率が光信号のパワー又は強度に伴って変化する現象である。

【0007】

屈折率の変化は光ファイバ中を伝搬する光信号の位相を変調し、その結果信号スペクトルを変更する周波数チャージングが生じる。この現象は自己位相変調 (self-phase modulation: SPM) として知られている。SPMによってスペクトルが変化し、波長分散による波形歪みが更に大きくなることがある。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

このように、波長分散及びカー効果は、伝送距離の増大に伴って光信号に波形歪みを与える。従って、光ファイバによる長距離伝送を可能にするためには、波長分散及び非線形性は制御され、補償され或いは抑圧されることが必要である。

【0009】

よって、本発明の目的は、波長分散及び非線形性を補償して長距離伝送を可能にする光ファイバ通信のための方法並びにその方法の実施に使用される装置及びシステムを提供することにある。本発明の他の目的は以下の説明から明らかになる。

【0010】

【課題を解決するための手段】

本発明のある側面によると、光ファイバ通信のための方法が提供される。まず、チャープパラメータにより決定されるチャージングを有する光信号が光ファイバ伝送路へ送出される。次いで、光ファイバ伝送路により伝送された光信号が電気信号に変換される。続いて、電気信号の符号誤りが検出される。そして、検出された符号誤りが減少するように前述のチャープパラメータが制御される。

【0011】

この方法によると、検出された符号誤りが減少するようにチャープパラメータが制御されるので、光ファイバ伝送路において生じるチャープピングを光ファイバ伝送路へ送出される光信号のチャープピングにより抑圧することができ、波長分散及び非線形性が補償される。

【0012】

例えば、マッハツェンダ型光変調器を用いた光変調により光信号が生成される場合、マッハツェンダ型光変調器の動作点を切り換えることによって、光ファイバ伝送路へ送出される光信号のチャープパラメータの正負を切り換えることができる。

【0013】

また、電界吸収型光変調器を用いた光変調により光信号が生成される場合、電界吸収型光変調器に与えられるバイアス電圧に応じてチャープパラメータを連続的に変化させることができるので、検出された符号誤りが最も少なくなるようにチャープパラメータを最適値に調節し得るようになる。

【0014】

望ましくは、伝送データ符号に冗長符号を付加して得られる変調信号に基づく光変調により光信号が生成される。これにより、冗長符号に基づき電気信号の符号誤りを訂正することができる。特にこの場合、電気信号の符号誤りの訂正をカウントすることによって、電気信号の符号誤りを検出することができる。

【0015】

本発明の他の側面によると、第1及び第2の端局装置と、第1及び第2の端局装置間に敷設される光ファイバ伝送路とを備えたシステムが提供される。第1の端局装置は、光送信機及び制御ユニットを備えている。光送信機は、チャープピングパラメータにより決定されるチャープピングを有する光信号を光ファイバ伝送路へ送出する。制御ユニットは、制御信号に従ってチャープパラメータを制御する。第2の端局装置は、光受信機及びモニタユニットを備えている。光受信機は、光ファイバ伝送路により伝送された光信号を電気信号に変換する。モニタユニットは、電気信号の符号誤りを検出する。検出された符号誤りに関する監視情報は

、第1の端局装置へ伝送される。それにより、モニタユニットで検出された符号誤りが減少するように、第1の端局装置において制御信号を生成することができる。

【0016】

本発明の更に他の側面によると、チャープパラメータにより決定されるチャープピングを有する光信号を光ファイバ伝送路へ送出する光送信機と、上記光ファイバ伝送路により伝送された光信号に関連して検出される符号誤りに関する監視情報を受ける手段と、上記監視情報に基づき上記検出された符号誤りが減少するように上記チャープパラメータを制御する手段とを備えた端局装置が提供される。

【0017】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の望ましい実施形態を詳細に説明する。全図を通して実質的に同一の部分には同一の符号が付される。

【0018】

図1は本発明によるシステムの実施形態を示すブロック図である。このシステムは、第1の端局装置2と、第2の端局装置4と、端局装置2及び4間に敷設される光ファイバ伝送路6とを備えている。

【0019】

第1の端局装置2は、チャープパラメータにより決定されるチャープピングをと有する光信号を光ファイバ伝送路6へその第1端6Aから送出する光送信機8と、制御信号CSに従って光送信機8におけるチャープパラメータを制御する制御ユニット10とを有している。

【0020】

第2の端局装置4は、光ファイバ伝送路6により伝送された光信号を電気信号に変換する光受信機12と、光受信機12から出力される電気信号の符号誤りを検出するモニタユニット14とを有している。検出された符号誤りに関する監視情報を第1の端局2へ伝送するために、第2の端局4には送信ユニット16が設けられている。

【0021】

また、第1の端局2には、第2の端局4から送られてきた監視情報を受けるための受信ユニット18が設けられている。受信ユニット18は、例えば、モニタユニット14において検出された符号誤りが減少するように、制御ユニット10に供給されるべき制御信号CSを生成する。

#### 【0022】

送信ユニット16から受信ユニット18への監視情報の伝送は、光ファイバ伝送路6を用いて行われるかも知れないし、図示しない他の光ファイバ伝送路を用いて行われるかも知れないし、電気回線又は無線回線により行われるかも知れない。

#### 【0023】

図2は図1に示される第1の端局装置2の実施形態を示すブロック図である。光送信機8は、連続波(CW)光を出力するレーザダイオード等からなる光源20と、入力信号ISの伝送データ符号に冗長符号を付加して変調信号MSを生成するFEC(Forward Error Correction: 順方向誤り訂正)エンコーダ22と、変調信号MSに基づき、光源20から出力されたCW光を変調して光信号を生成するマッハツェンダ型光変調器(MZ変調器)24とを有している。生成された光信号は、光カプラ26を通して光ファイバ伝送路6へ送出される。

#### 【0024】

図3は図1に示される第2の端局装置4の実施形態を示すブロック図である。光受信機12は、光ファイバ伝送路6により伝送された光信号を電気信号に変換するフォトダイオード等のフォトディテクタ(PD)28と、変換された電気信号に基づき復調を行う復調回路30と、FECエンコーダ22(図2参照)により付加された冗長符号に基づき、復調回路30から出力される電気信号の符号誤りを訂正するFECデコーダ32とを有している。従って、モニタユニット14は、FECデコーダ32における符号誤りの訂正をカウントすることにより、符号誤りを検出することができる。

#### 【0025】

FECエンコーダ22に入力される入力信号IS及びFECデコーダ32から

出力される電気信号は、この実施形態では、同期デジタルハイアラキ（SDH）に適合する。SDHは各種の高速サービスや既存の低速サービスを有効に多重化するためのインタフェースを規定するもので、1988年11月にCCITT（現在のITU-T）で標準化された。

## 【0026】

多重化の特徴としては、ネットワークの周波数同期がとられていることを前提に、 $155.52\text{Mb/s}$ を基本速度とし（これをSTM-1レベルという）、その整数倍、即ち $N \times 155.52\text{Mb/s}$ を伝送速度に用いていることが上げられる。 $N=1, 4, 16$ 、即ち、 $155.52\text{Mb/s}$ （STM-1）、 $622.08\text{Mb/s}$ （STM-4）、 $2.48832\text{Gb/s}$ （STM-16）が規定されている。

## 【0027】

FECデコーダ32（図3参照）は、符号誤りが訂正された伝送データを出力すると共に、符号誤りの訂正個数が反映されるデータを出力する。従って、この実施形態では、モニタユニット14がFECデコーダ32における符号誤りの訂正をカウントすることによって、符号誤りの程度を容易に検出することができる。モニタユニット14において検出された訂正の個数は、送信ユニット16から監視情報として第1の端局装置2へ伝送される。

## 【0028】

再び図2を参照して、光送信機8及び制御ユニット10の構成及び動作を詳細に説明する。

MZ変調器24は、光源20に光学的に接続される入力ポート24Aと、光カプラ26に光学的に接続される出力ポート24Bと、入力ポート24AにY分岐34により光学的に結合される一対の光パス36及び38と、光パス36及び38を出力ポート24Bに光学的に結合するためのもう1つのY分岐40とを有している。

## 【0029】

Y分岐34及び40並びに光パス36及び38は、例えば、 $\text{LiNbO}_3$ 等からなる誘電体基板上に予め定められたパターンでTi等を熱拡散させて光導波構

造を形成することにより得ることができる。光パス 36 及び 38 に電界を印加するために、光パス 36 及び 38 上にはそれぞれ接地電極 42 及び信号電極 44 が設けられている。信号電極 44 は例えば進行波型に提供される。

【0030】

入力ポート 24 A に光源 20 から供給された CW 光は、まず、Y 分岐 34 においてパワーが実質的に等しい第 1 及び第 2 の分岐ビームに分岐される。第 1 及び第 2 の分岐ビームはそれぞれ光パス 36 及び 38 を伝搬し、Y 分岐 40 で合流する。

【0031】

接地電極 42 と信号電極 44 との間に生じる電界が光パス 36 及び 38 の屈折率を互いに逆向きに变化させることにより、第 1 及び第 2 の分岐ビームの間には位相差が生じ、このように位相差が与えられた第 1 及び第 2 の分岐ビームが Y 分岐 40 で干渉する結果、変調信号 MS に従って強度変調された光信号が出力ポート 24 B から出力される。

【0032】

MZ 変調器 24 を駆動しその動作点を安定化するために、光送信機 8 は、更に、重畳回路 46、バイアス回路 48、ローパスフィルタ 50、位相検出器 52、発振器 54 及びフォトディテクタ 56 を有している。

【0033】

また、この実施形態では、制御ユニット 10 は、チャープパラメータ設定回路 58 と 2 つの符号反転回路 60 及び 62 とを含む。

動作点安定化のために、発振器 54 が出力する周波数  $f_0$  の低周波信号が用いられる。低周波信号は符号反転回路 62 を通って重畳回路 46 に供給される。FEC エンコーダ 22 からの変調信号 MS は、符号反転回路 60 を通って重畳回路 46 に供給される。

【0034】

重畳回路 46 では、低周波信号が変調信号 MS に重畳され、その結果得られた重畳信号が信号電極 44 に供給される。重畳回路 46 は、例えば、利得可変型の増幅器とこの増幅器を信号電極 44 と AC 結合するためのキャパシタとから構成

され得る。

【0035】

符号反転回路 60 及び 62 はチャープパラメータ設定回路 58 により制御される。この制御の詳細については後述する。

動作点が安定化するように制御されたバイアス電圧が、バイアス回路 48 から信号電極 44 に供給される。その制御を行うために、MZ 変調器 24 の出力ポート 24B から出力される光信号の一部が、フォトディテクタ 56 により電気信号に変換される。この電気信号には周波数  $f_0$  の低周波成分が含まれ得る。

【0036】

位相検出器 52 は同期検波回路として提供される。位相検出器 52 は、発振器 54 からの低周波信号とフォトディテクタ 56 からの低周波成分との位相比較を行う。その位相比較の結果は位相検出器 52 の出力信号の DC 成分に現れるので、その DC 成分がローパスフィルタ 50 によって抽出されてバイアス回路 48 にフィードバックされる。

【0037】

このフィードバックループにおいては、フォトディテクタ 56 からの低周波成分が最小となるようにバイアス回路 48 がバイアス電圧を制御する。

図 4 を参照すると、図 2 に示される MZ 変調器 24 の動作点安定化の原理が示されている。符号 64 は MZ 変調器 24 への入力電気信号の波形を示している。MZ 変調器 24 の最適な動作点は、符号 66 で示されるように、入力電気信号 64 の両レベルが最大及び最小の出力光パワーを与える動作特性曲線によって決定される。ここで、動作特性曲線は、光パワーと印加電圧との関係を現すサインカーブによって与えられ、この動作特性曲線が電圧方向にシフトするのが動作点ドリフトである。

【0038】

今、温度変動等により動作特性曲線が 68 又は 70 で示されるようにシフトすると、出力光信号には低周波成分が生じるようになり、シフトの方向は低周波成分の位相に反映される。即ち、動作特性曲線 68 及び 70 がそれぞれ与える出力光信号の包絡線の位相は、 $180^\circ$  異なる。従って、図 2 に示されるように位相

検出器 52 を用いて同期検波を行うことによって、MZ 変調器 24 の動作点が安定化される。

## 【0039】

次に、図 5 の (A) 乃至 (D) を参照して、符号反転回路 60 及び 62 を用いたチャープパラメータの切り換えについて説明する。MZ 変調器 24 においては、干渉により光スイッチングが行われているので、干渉により本質的に生じる波長変動 (チャープイング) を利用してプリチャープイングを行うことができる。プリチャープイングは、送信光信号の 1 パルス内に波長 (周波数) の変動を予め与えておくことにより、光ファイバ伝送路における波長分散及び非線形効果による伝送波形の劣化を抑制するための方法である。

## 【0040】

MZ 変調器 24 の動作特性曲線はサインカーブで与えられるので、安定点となり得る動作点は複数ある。

図 5 の (A) を参照すると、MZ 変調器 24 の動作特性曲線が示されている。印加電圧として、1 つの安定点  $V_{b1}$  の近傍の領域 72 を使用して、図 5 の (B) の左側に示されるような正のパルスを与えると、領域 72 においては印加電圧 ( $V$ ) の増大に従って光パワー ( $P$ ) が増大するので、図 7 の (C) の左側に示されるように、電圧パルスと同じ極性で光パルスが出力される。

## 【0041】

このとき、図 5 の (D) の左側に示されるように、光パルスの立ち上がり部分では波長が平均値よりも短くなり立ち下がり部分では長くなる。即ち、1 つの光パルスにおいて波長が時間 ( $t$ ) と共に短波長 (青側) から長波長 (赤側) へシフトする。この現象はレッドシフトと称される。

## 【0042】

一方、他の安定点  $V_{b2}$  の近傍の領域 74 を使用して、図 5 の (B) の右側に示されるような負の電圧パルスを与えると、領域 74 においては印加電圧 ( $V$ ) の増大に従って光パワー ( $P$ ) が減少することから、図 5 の (C) の右側に示されるように、電圧パルスとは逆極性で光パルスが出力される。

## 【0043】



このとき、図5の(D)の右側に示されるように、光パルスの立ち上がり部分では波長が長波長側にシフトし、立ち下がり部分では短波長側にシフトする。即ち、1つの光パルスにおいて波長が時間(t)と共に長波長(赤側)から短波長(青側)へシフトする。この現象はブルーシフトと称される。

【0044】

光パルスのチャープパラメータ $\alpha$ は、

$$\alpha = 2 (d\phi / dt) / (dS / dt) / S$$

で与えられる。ここで、 $\phi$ は光位相、Sは光強度である。

【0045】

レッドシフトの場合、チャープパラメータ $\alpha$ は正の値をとり、ブルーシフトの場合、チャープパラメータ $\alpha$ は負の値をとる。

光信号の波長が伝送路として使用される光ファイバの零分散波長よりも短くて正常分散の領域にあるとき、長波長の光は短波長の光よりも光ファイバ中を速く進むので、予め、 $0 < \alpha$  (レッドシフト)のプリチャージングを与えておくことによりパルスの圧縮が生じ、アイ開口度が大きくなる。

【0046】

逆に、異常分散の領域にあるときは、短波長の光は長波長の光よりも光ファイバ中を速く進むので、予め、 $\alpha < 0$  (ブルーシフト)のプリチャージングを与えておくことによって、アイ開口度が大きくなる。

【0047】

また、伝送路の条件に合わせてチャープパラメータ $\alpha$ の値を調節することによって、システム全体の伝送条件を最適化することができる。

図2の実施形態では、チャープパラメータ設定回路58が安定点Vb1及びVb2を切り換えることによって、チャープパラメータ $\alpha$ の正負が切り換えられる。

【0048】

具体的には、発振器54から重畳回路46に供給される低周波信号の極性を反転させるために、符号反転回路62が設けられている。符号反転回路62によって低周波信号の極性が切り換えられると、重畳回路46に供給される低周波信号

の位相が逆転し、その結果、フォトディテクタ 56 を含むフィードバックループにおける制御の方向が逆になる。これにより、切り換え前の安定点が図 5 の (A) における  $V_{b1}$  であるとするれば、切り換え後の安定点は  $V_{b2}$  となる。その結果、チャープパラメータ  $\alpha$  の正負が逆転する。

## 【0049】

この場合、元の安定点  $V_{b1}$  においては、印加電圧の増大に従って光パワーが増大するが、切り換え後の安定点  $V_{b2}$  においては、印加電圧の増大に従って光パワーが減少する。そこで、FEC エンコーダ 22 から出力される変調信号  $MS$  におけるハイレベル及びローレベルと、MZ 変調器 24 から出力される光信号におけるハイレベル及びローレベルとの間の関係を同一に保つために、変調信号  $MS$  のための符号反転回路 60 が採用されているのである。

## 【0050】

尚、図 2 の実施形態においては、符号反転回路 62 は発振器 54 と重畳回路 46 との間に設けられているが、符号反転回路 62 は、発振器 54 と位相検出器 52 との間あるいはフォトディテクタ 56 と位相検出器 52 との間に設けられていてもよい。

## 【0051】

さて、図 3 に示されるモニタユニット 14 で検出された FEC デコーダ 32 における符号誤りの訂正カウント値（以下「エラーカウント」と称する。）は、送信ユニット 16 に供給される。送信ユニット 16 は、モニタユニット 14 からのエラーカウントを含む監視情報に関連する監視回路 76 と、監視情報を第 1 の端局 2（図 1 及び図 2 参照）に伝送するために監視情報に基づく光信号を生成する光送信機 78 とを備えている。

## 【0052】

この実施形態では、光送信機 78 から出力された光信号は、光ファイバ伝送路 6 とは別チャネルの光ファイバ伝送路 80 にその第 1 端 80A から供給される。

図 2 に示されるように、光ファイバ伝送路 80 により伝送されてきた送信ユニット 16 からの光信号は、光ファイバ伝送路 80 の第 2 端 80B から受信ユニット 18 に供給される。

【0053】

受信ユニット18は、光ファイバ伝送路80からの光信号を電気信号に変化するためのフォトディテクタ82と、フォトディテクタ82から出力された電気信号に基づきエラーカウントを再生する復調回路84とを含む。

【0054】

エラーカウントはバッファ86を介してCPU88に供給される。CPU88にはメモリユニット90が接続されている。

メモリユニット90は、プログラム及びプログラムを実行するためのデータを記憶しているROM（リードオンリーメモリ）と、演算結果を一時的に記憶するためのRAM（ランダムアクセスメモリ）とを含む。

【0055】

CPU88における演算結果は、レジスタ92を介して、制御信号CSとして制御ユニット10のチャープパラメータ設定回路58に供給される。

次に、図6に示されるフローチャートを参照して、図2に示される装置の動作を説明する。まず、ステップ102では、チャープパラメータ $\alpha$ が正の値に設定され、レッドシフトチャープピングを有する光信号が光送信機8から出力されるようにする。

【0056】

次いでステップ104では、そのときのエラーカウントEC1が検出され、その値がメモリユニット90に記憶される。

次いで、ステップ106では、チャープパラメータ $\alpha$ が負の値に設定され、ブルーシフトチャープピングを有する光信号が光送信機8から出力されるようにする。

【0057】

次いでステップ108では、そのときのエラーカウントEC2が検出され、その値もメモリユニット90に記憶される。

ステップ110では、メモリユニット90に記憶されているエラーカウントEC1及びEC2が比較され、エラーカウントEC2がエラーカウントEC1よりも小さい場合には、このフローは終了する。即ち、光送信機8からブルーシフト

チャージングを有する光信号が出力される状態が固定される。

【0058】

ステップ110でエラーカウンタEC2がエラーカウンタEC1に等しいかそれよりも大きいと判断された場合には、ステップ112に進み、チャージパラメータ $\alpha$ が再び正の値に設定されて、光送信機8からレッドシフトチャージングを有する光信号が出力される状態が固定される。

【0059】

尚、図6に示される動作は、システムの初期立ち上げ時又は伝送ルートの変更、光送信機の変更若しくは障害復旧に際してのシステムの再立ち上げに際して行うことができる。

【0060】

この実施形態では、CPU88を採用して自動的にチャージパラメータの正負が切り換えられるようにしているが、検出されたエラーカウンタに基づきオペレータがマニュアルでチャージパラメータの正負を切り換えるようにしてもよい。

【0061】

尚、図6に示される動作において、エラーカウンタEC1及びEC2が等しい場合にレッドシフトチャージングを有する光信号が光送信機8から出力されるようにしているのは、例えば図5の(A)乃至図5の(D)に示される動作では、バイアスVb1を適用してレッドシフトチャージングが得られるようにすることによって、符号反転回路60及び62(図2参照)における論理の反転が必要なく、装置の運用上都合がよいからである。

【0062】

この実施形態では、光ファイバ伝送路80(図2及び図3参照)は専らモニタユニット14で検出されるエラーカウンタに関する監視情報を第2の端局装置4から第1の端局装置2へ伝送するために使用されているが、光ファイバ伝送路80により一般用途の主信号を伝送するようにしてもよい。この場合には、エラーカウンタを含む監視情報は、主信号のOH(オーバーヘッド)情報に含ませることができる。

【0063】

特にこの実施形態では、FECエンコーダ22及びFECデコーダ32を用いて符号誤りの訂正を行っているので、ビットエラーレート（BER）が向上する。例えば、リードソロモン（Reed-Solomon）符号を用いた誤り訂正を行うことによって、元信号のBERが $10^{-3}$ 、 $10^{-4}$ 及び $10^{-5}$ である場合にそれぞれ訂正後のBERを $10^{-5}$ 、 $10^{-13}$ 及び $10^{-21}$ に向上させることができる。

## 【0064】

図7は光ファイバ伝送路6として使用することができる光ファイバの分散特性を示すグラフである。縦軸は分散（ps/nm/km）、横軸は波長（ $\mu\text{m}$ ）を表している。

## 【0065】

光ファイバ伝送路6として一般用途のシングルモードファイバ（SMF）を用いた場合、その零分散波長は概ね $1.3\mu\text{m}$ である。この場合、零分散波長よりも長い波長の光信号に対しては異常分散領域となり、分散は正の値をとる。また、零分散波長よりも短い波長の光信号に対しては正常分散領域となり、分散は負の値をとる。光ファイバ伝送路6としてSMFを用いる場合、光信号の波長はSMFにおいて最低損失を与える $1.55\mu\text{m}$ 帯（例えば $1.50-1.60\mu\text{m}$ ）に設定されるので、その光信号に対しては常に異常分散領域となる。

## 【0066】

光ファイバ伝送路6として分散シフトファイバ（DSF）を用いた場合、その零分散波長は概ね $1.55\mu\text{m}$ である。零分散波長よりも長い波長を有する光信号に対しては異常分散領域となり、分散は正の値をとる。また、零分散波長よりも短い波長を有する光信号に対しては正常分散領域となり、分散は負の値をとる。DSFの最低損失を与える波長も概ね $1.55\mu\text{m}$ に等しいので、光信号の波長は $1.55\mu\text{m}$ 帯に設定される。従って、光源20（図2参照）として用いられるレーザダイオードの発振波長とDSFの実際の零分散波長との相対関係に従って、異常分散領域になるか正常分散領域になるかが決定される。

## 【0067】

以下、光ファイバ伝送路6としてDSF及びSMFの各々を用いた場合におけ

る伝送可能距離を説明する。

図8の(A)を参照すると、光ファイバ伝送路6としてDSFを用いた場合における図1のシステムの主要部が示されている。ここでは、受信感度を高めるために、第2の端局装置4にはプリアンプとして用いられる光増幅器122が付加的に設けられている。光増幅器122は光ファイバ伝送路6の第2端6Bと光受信機12との間に光学的に接続される。光増幅器122としてはエルビウムドープファイバ増幅器(EDFA)を用いることができる。

#### 【0068】

図8の(B)を参照すると、光送信機8から出力される光信号がレッドシフトチャープニングを有している場合( $0 < \alpha$ )における伝送可能距離が示されている。縦軸は光受信機12における等化波形のアイ開口度、横軸は距離を表している。SNLで表されているのは伝送距離のSN限界、WDLで表されているのはアイ開口度の波形劣化限界である。また、NDは光ファイバ伝送路6が正常分散領域にあることを意味し、ADは光ファイバ伝送路6が異常分散領域にあることを意味している。

#### 【0069】

光信号がレッドシフトチャープニングを有している場合、正常分散領域では、光信号の波形又はパルス幅はまず圧縮された後に広がっていくので、アイ開口度の劣化がWDLを下回る距離は、SNLよりも十分長くなる。従って、この場合、伝送可能距離は、符号L1で示されるように、SNLで与えられる。

#### 【0070】

異常分散領域では、レッドシフトチャープニングを有する光信号の波形又はパルス幅は拡大し続けるので、伝送可能距離は、符号L2で示されるように、アイ開口度の劣化がWDLを下回るところの距離で与えられ、この伝送可能距離L2はここではL1よりも短い。

#### 【0071】

図8の(C)を参照すると、光送信機8から出力される光信号がブルーシフトチャープニングを有している場合( $\alpha < 0$ )における伝送可能距離が示されている。ここでは、レッドシフトチャープニングの場合と逆に、異常分散領域における伝

送可能距離 $L_3$ がSNLにより与えられ、正常分散領域における伝送可能距離 $L_4$ は、アイ開口度の劣化がWDLを下回るところの距離によって与えられている。

【0072】

図2及び図3に示される実施形態では、第2の端局装置4におけるエラーカウントがより小さくなるように、制御信号CSに従ってチャープパラメータ設定回路58がチャープパラメータを設定することができるので、正常分散領域及び異常分散領域のいずれにおいても伝送可能距離を $L_1$ 又は $L_3$ で示されるようにより長い距離に設定することができる。

【0073】

図9の(A)に示されるシステムは、図8の(A)に示されるシステムと対比して、第1の端局装置2がポストアンプとして用いられる光増幅器124を付加的に備えている点で特徴付けられる。光増幅器124としてはEDFAを採用することができる。光増幅器124は光送信機8と光ファイバ伝送路6の第1端6Aとの間に光学的に接続される。

【0074】

この場合、図9の(B)及び(C)に示されるように、光ファイバ伝送路6に送出される光信号のパワーが増大することにより、SNLが長くなると共に光ファイバ伝送路6で生じる非線形効果(SPM)が大きくなる。図9の(B)及び(C)はそれぞれ図8の(B)及び(C)に対応するように図示されている。

【0075】

図9の(B)に示されるように、光送信機8から出力される光信号がレッドシフトチャープニングを有している場合( $0 < \alpha$ )においては、正常分散領域では、伝送可能距離 $L_5$ はSNLによって与えられ、異常分散領域では、伝送可能距離 $L_6$ は、アイ開口度の劣化がWDLを下回るところの距離によって与えられる。

【0076】

図9の(C)に示されるように、光送信機8から出力される光信号がブルーシフトチャープニングを有している場合( $\alpha < 0$ )においては、異常分散領域では、伝送可能距離 $L_7$ はSNLによって与えられ、正常分散領域では、伝送可能距離

L8は、アイ開口度の劣化がWDLを下回るところの距離によって与えられる。

【0077】

従って、図9の(A)に示されるシステムにおいても、図8の(A)に示されるシステムにおけるのと同様にして、チャープパラメータの切り換えによって伝送可能距離をL5又はL7で示されるように常により長く設定することができる。

【0078】

図10の(A)に示されるシステムは、図8の(A)に示されるシステムと対比して、光ファイバ伝送路6としてSMFが用いられている点で特徴付けられる。光ファイバ伝送路6としてSMFが用いられている場合、前述したように、その零分散波長は概ね $1.3\mu\text{m}$ であり、光送信機8から出力される光信号の波長は $1.55\mu\text{m}$ 帯にあるので、異常分散領域だけが与えられる。

【0079】

従って、光送信機8から出力される光信号がレッドシフトチャープピングを有している場合( $0 < \alpha$ )においては、伝送可能距離L9は図10の(B)に示されるように非常に短くなる。

【0080】

また、光送信機8から出力される光信号がブルーシフトチャープピングを有している場合( $\alpha < 0$ )においては、光信号の波形又はパルス幅が光ファイバ伝送路6において圧縮される場合がある分だけ、伝送可能距離L10はL9よりも長くなる。

【0081】

従って、図10の(A)に示されるシステムでは、ブルーシフトチャープピングが得られるようにチャープピングパラメータ $\alpha$ を負の値に設定することによって、伝送可能距離をL10で示されるようにより長くすることができる。

【0082】

図11の(A)に示されるシステムは、図9の(A)に示されるシステムと対比して、光ファイバ伝送路6としてSMFが用いられている点で特徴付けられる。



【0083】

ここでは、 $1.55\mu\text{m}$ 帯におけるSMFの分散値が比較的大きいという事実  
に鑑み、光ファイバ伝送路6の波長分散を補償するために、分散補償ファイバ（  
DCF）126及び128が採用されている。DCF126は光送信機8と光増  
幅器124との間に光学的に接続され、DCF128は光増幅器122と光受信  
機12との間に光学的に接続されている。

【0084】

DCF126及び128の各々としては、損失を小さく抑えるために、SMF  
の分散よりも十分大きな分散（ $\text{ps/nm/km}$ ）のものをを用いることができる  
。各DCFは正常分散領域にあり、これにより分散補償が行われる。

【0085】

DCF126及び128が用いられる場合、これらによって導入される分散量  
に応じて特性曲線は（i）、（ii）及び（iii）で示されるように異なるものとな  
る。

【0086】

図11の（B）に示されるように、光送信機8から出力される光信号がレッド  
シフトチャープを有している場合（ $0 < \alpha$ ）においては、3つの特性曲線は  
WDLよりも上側で交差しているので、伝送可能距離L11はSNLによって与  
えられる。

【0087】

光送信機8から出力される光信号がブルーシフトチャープを有している場  
合（ $\alpha < 0$ ）においては、3つの特性曲線はWDLよりも下側で交差しているの  
で、伝送可能距離は、L12で示される限定された3つの範囲によって与えられ  
る。

【0088】

従って、図11の（A）に示されるシステムにあっては、チャープパラメータ  
 $\alpha$ を正の値に設定しておくことによって、伝送可能距離を長くしあるいは伝送可  
能距離の範囲を広くすることができる。

【0089】

図12は図1に示される第1の端局装置2の他の実施形態を示すブロック図である。この実施形態は、光送信機8が変調器集積化レーザダイオード(MI-LD)212を有している点で特徴付けられる。MI-LD212は、FECエンコーダ22からの変調信号MSに基づく変調により得られる光信号を出力する。光信号は、光カプラ26を通過して光ファイバ伝送路6にその第1端6Aから供給される。

#### 【0090】

この実施形態では、制御ユニット10がMI-LD212の動作条件を制御あるいは最適化することによって、MI-LD212から出力される光信号のチャープパラメータ $\alpha$ が最適値に調節される。

図13を参照すると、図12に示されるMI-LD212の構成が示されている。MI-LD212は、例えばGaInAsの多重量子井戸(MQW)層を含む直接結合導波路構造を有する半導体チップとして提供され得る。

#### 【0091】

MI-LD212は、CW光を発生する光源としての発光層(活性層)214を有する分布帰還(DFB)型のレーザダイオード(LD)216と、吸収層218を有する電界吸収型光変調器(EA変調器)220とを一体に有している。活性層214及び吸収層218はモノリシックに直結されている。

#### 【0092】

符号222はLD216及びEA変調器220に共通な電極を表しており、電極222は例えば接地される。LD216はバイアス電流を受けるための電極224を有しており、EA変調器220は印加電圧のための電極226を有している。

#### 【0093】

MI-LD212は、モノリシックに直結される活性層214及び吸収層218を有しているため、活性層214で発生したCW光は効率よく吸収層218に導入される。従って、高出力な光送信機8の提供が可能になる。また、MI-LD212は小さな半導体チップとして提供されるため、光送信機8を小型にすることができる。

## 【0094】

図14はMI-LD212の静特性の一例を示す図である。縦軸は、EA変調器212の出力光パワー(mW)、横軸はLD216のバイアス電流(mA)を表している。電極222を接地して、電極226の電位をそれぞれ0V、-1V、-2V及び-3Vに設定したときの静特性が示されている。

## 【0095】

図示された特性から、例えば、ハイレベルが0Vでローレベルが-3Vのパルス波形によりEA変調器212を駆動することによって、消光比が約12dBの光パルスが光信号として得られることがわかる。

## 【0096】

図15はMI-LD212における減衰(dB)と印加電圧(V)との関係を示すグラフである。縦軸の減衰はdB表示であるので、縦軸はMI-LD212の出力光パワーの常用対数に対応していることに留意されたい。

## 【0097】

EA変調器220は逆バイアスで駆動されるので、電極226には負の印加電圧が与えられる。図15には、LD216のバイアス電流が100mAであるときの特性が示されており、EA変調器220の印加電圧の絶対値が大きくなるに従って減衰が大きくなっている。

## 【0098】

図16はMI-LD212の動作特性を示す図である。符号228はMI-LD212の出力光パワー(mW)と印加電圧(V)との関係を表す特性カーブを示している。縦軸の出力光パワーのメモリがdB表示でないことから、特性カーブ228の形状が図15に示されるカーブの形状と異なる点に留意されたい。特性カーブ228は、印加電圧の絶対値が大きくなるに従って小さくなる傾斜を有している。

## 【0099】

今、変調信号MSのデューティDが符号230で示されるように100%である場合、特性カーブ228が上述のような形状を有していることに起因して、光信号の波形におけるクロスポイントは、符号232で示されるように、ハイレベ

ル (H) よりもローレベル (L) に近くなる。

【0100】

ここで、デューティDが100%であるというのは、デジタル信号における立ち上がり線と立ち下がり線のクロスポイントがハイレベル (H) とローレベル (L) との間の midpoint に一致することを意味し、デューティDが100%よりも小さいというのは、クロスポイントがローレベルに近いことを意味し、デューティDが100%よりも大きいというのは、クロスポイントがハイレベルに近いことを意味する。

【0101】

光信号の波形におけるクロスポイントが midpoint に一致するようにシステムが設計されている場合、電気波形から光波形への上述のようなデューティの変化は受信感度を劣化させる。

【0102】

符号234で示されるように、光信号の波形における立ち上がり線と立ち下がり線のクロスポイントがハイレベルとローレベルとの間の midpoint に一致するようにするためには、符号236で示されるように、変調信号MSのデューティDを予め100%よりも大きくしておくことが望ましい。

【0103】

図17はMI-LDから出力される光信号のチャープパラメータ $\alpha$ の種々の印加電圧 (V) の値に対する測定値を示すグラフである。印加電圧を変化させることによって、チャープパラメータ $\alpha$ を正の値から負の値まで変化させることができる。

【0104】

従って、後述するようにEA変調器220に与えられるバイアス電圧 $V_B$ を変化させることによって、光信号のチャープパラメータ $\alpha$ を連続的に変化させることができる。

【0105】

再び図12を参照すると、制御ユニット10は、A/Dコンバータ及びD/Aコンバータを含む信号入出力用のI/Oポート238と、予め定められたプログ

ラムに従ってバイアス電圧  $V_B$  の目標値等の演算を行う CPU 240 と、プログラム及びデータテーブルのためのデータが記憶されている ROM 242 と、演算結果を一時的に記憶するための RAM 244 と、これらを相互に接続するデータバス 246 とを備えている。

【0106】

また、受信ユニット 18 は、フォトディテクタ 82、復調回路 84 及びバッファ 86 を含んでおり、モニタユニット 14（図 3 参照）において検出されたエラーカウントに関する監視情報は、第 1 の端局装置 4 の送信ユニット 16 から第 2 の端局装置 2 の受信ユニット 18 に送られて、そのバッファ 86 から直接 I/O ポート 238 に取り込まれる。

【0107】

従って、この実施形態においては、制御信号 CS は制御ユニット 10 内においてやり取りされる信号として理解されたい。

MI-LD 212 には温度コントローラ 248 が付随的に設けられている。MI-LD 212 の温度データは、温度コントローラ 248 から I/O ポート 238 を介して CPU 240 に取り込まれる。温度の目標値は、CPU 240 から I/O ポート 238 を介して温度コントローラ 248 に供給される。

【0108】

バイアス電流回路 250 は、LD 216 で発生する CW 光の振幅を決定するバイアス電流  $I_{LD}$  を LD 216 に供給する。バイアス電流  $I_{LD}$  の目標値は、CPU 240 から I/O ポート 238 を介してバイアス電流回路 250 に供給される。

【0109】

EA 変調器 220 のためにバイアス電圧回路 252 が発生するバイアス電圧  $V_B$  の値は、I/O ポート 238 を介して CPU 240 に取り込まれる。これは、バイアス電圧  $V_B$  に基づいて、バイアス電圧  $V_B$  に重畳される変調信号  $V_{MOD}$ （変調信号 MS に基づき得られる）の振幅等を制御するためである。

【0110】

EA 変調器 220 がチャープパラメータ  $\alpha$  の最適値を有するように設定されるバイアス電圧  $V_B$  の目標値は、CPU 240 から I/O ポート 238 を介してバ

イアス電圧回路 252 に供給される。

【0111】

変調信号  $V_{MOD}$  をバイアス電圧  $V_B$  に重畳するための駆動回路 253 には、振幅可変回路 254 が付随的に設けられている。振幅可変回路 254 には、振幅の目標値が CPU 240 から I/O ポート 238 を介して供給されており、振幅可変回路 254 は、駆動回路 253 から出力される変調信号  $V_{MOD}$  の振幅が目標値に一致するようにこれを制御する。

【0112】

デューティ可変回路 256 は、駆動回路 253 から出力される変調信号  $V_{MOD}$  のデューティを制御する。デューティの目標値は、CPU 240 から I/O ポート 238 を介してデューティ可変回路 256 に供給される。

【0113】

MI-LD 212 から出力された光信号の一部は、光カプラ 26 によりモニタ光として抽出される。モニタ光はフォトディテクタ 260 に供給される。フォトディテクタ 260 は光送信機 8 から出力される光信号のパワーに対応するレベルを有する電気信号を出力し、この電気信号は I/O ポート 238 を介して CPU 240 に取り込まれる。

【0114】

図 18 の (A) 及び (B) を参照して図 12 に示される光送信機 8 の動作を説明する。

図 18 の (A) は、負のチャープパラメータ  $\alpha$  を得るために比較的絶対値が大きいバイアス電圧  $V_{B-}$  が設定されている場合に対応している。図示された例では、バイアス電圧  $V_{B-}$  は光信号の波形におけるクロスポイントに対応している。

【0115】

図 18 の (A) 及び (B) の各々に示される特性カーブは図 16 に示される特性カーブ 228 に対応しているものとする。

光信号の消光比を改善するためには、バイアス電圧の絶対値が大きくなるに従って変調信号  $V_{MOD}$  の振幅が大きくなるようにすることが望ましい。図 18 の (A) では、変調信号  $V_{MOD}$  の振幅  $V_1$  に対して光信号の消光比は 1 : 3 になって

いる。

【0116】

また、光信号の波形におけるクロスポイントがハイレベルとローレベルの中間になるように、変調信号 $V_{MOD}$ のデューティは $D1 (>100\%)$ に設定されている。

【0117】

変調信号 $V_{MOD}$ の振幅及びデューティの最適値は、特性カーブが与えられるとバイアス電圧に対して一義的に決定されるので、バイアス電圧の各値に対応する最適な変調信号 $V_{MOD}$ の振幅及びデューティの値が図12のROM242に記憶されており、CPU240はこの記憶テーブルに基づき変調信号 $V_{MOD}$ の振幅及びデューティの目標値を算出するのである。

【0118】

図18の(B)に示されるように、正のチャープパラメータ $\alpha$ を得るために比較的絶対値が小さいバイアス電圧 $V_{B+}$ が設定されると、消光比が一定に保たれるようにするために、変調信号 $V_{MOD}$ の振幅が $V2 (<V1)$ に変更される。また、光信号の波形におけるクロスポイントがハイレベルとローレベルの中間になるように、変調信号 $V_{MOD}$ のデューティが $D2 (>D1)$ に変更される。

【0119】

ここで注意すべき点は、CW光のパワーが一定である場合、バイアス電圧の絶対値が大きくなるのに従って光信号の出力パワーが減少している点である。そこで、この実施形態では、バイアス電圧の絶対値が大きくなるに従ってCW光のパワーが大きくなるように、バイアス電流回路50がLD216に供給するバイアス電流の目標値が設定される。

【0120】

バイアス電圧の変更に伴う光信号の出力パワーの変動を抑えるために、フィードフォワード制御が採用可能である。特性カーブが与えられると、バイアス電圧の各値に対するLD216のバイアス電流の最適値がわかるので、これをROM242に記憶させておき、バイアス電圧回路252から取り込まれるバイアス電圧の値に基づいてCPU240がLD216のバイアス電流の最適値を算出する

## 【0121】

図12の実施形態では、出力光信号の一部を受けるフォトディテクタ260が設けられているので、LD216のバイアス電流のフィードバック制御も可能である。即ち、フォトディテクタ260の出力信号レベルが一定になるように、CPU240が逐次バイアス電流の目標値を算出し、そのバイアス電流をバイアス電流回路250がLD216に供給するのである。

## 【0122】

さて、例えばブルーシフトのチャージングを得るというメリットのために、EA変調器220に供給されるバイアス電圧の絶対値を大きくすると、出力光信号の消光比が劣化し且つ光出力パワーが低下するというデメリットが生じる。

## 【0123】

従って、このようなトレードオフの関係を考慮して、光ファイバ伝送路6における損失や波長分散に合わせてEA変調器220の駆動条件を決定するのが望ましい。制御対象となる駆動パラメータとしては、前述のEA変調器220のバイアス電圧、変調信号のデューティ及び振幅並びにLD216バイアス電流の他に、EA変調器220単独の温度又はMI-LD212の温度がある。

## 【0124】

図12の光送信機8においては、M1-LD12を用いているので、光源及び変調器間の結合効率を高めることができ、高出力で且つ小型な光送信機の提供が可能である。また、光源及び変調器の温度制御を1つの温度コントローラ48により行うことができる。

## 【0125】

このように、図12に示される実施形態によると、制御ユニット10の特定の動作に従って、第2の端局装置4において検出される符号誤りが最も少なくなるように、光送信機8から出力される光信号のチャープパラメータ $\alpha$ が最適値に調節されるので、波長分散及び非線形性による波形劣化の影響を小さくすることができる。

## 【0126】



制御ユニット 10 の動作のプログラムを変更して、バイアス電圧回路 252 が、正の第 1 のチャープパラメータを与える第 1 のバイアス電圧と負の第 2 のチャープパラメータを与える第 2 のバイアス電圧とを選択的に発生するようにしてもよい。

【0127】

例えば、図 17 において、点 A 及び B によりそれぞれ示される +1 及び -1 のチャープパラメータを切り換えるために、第 1 及び第 2 のバイアス電圧としてそれぞれ -0.4 V 及び -1.7 V が与えられる。

【0128】

この場合、CPU 240 がチャープパラメータの最適値に対応するバイアス電圧の目標値を算出する場合と比較して、CPU 240 における演算を簡単に行うことができる。

【0129】

以上説明した実施形態では、本発明が無中継システムに適用されているが、伝送距離を長くするために、光ファイバ伝送路 6 の途中に各々光増幅器を含む少なくとも 1 つの光中継器が設けられていてもよい。

【0130】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によると、波長分散及び非線形性を補償して長距離伝送を可能にする光ファイバ通信のための方法並びに該方法の実施に使用される装置及びシステムの提供が可能になるという効果が生じる。特に、本発明による端局装置では、光ファイバ伝送路により伝送された光信号に関連して検出される符号誤りに関する監視情報に基づきチャープパラメータが制御されるので、伝送ルート変更等に対する汎用性が高まる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

図 1 は本発明によるシステムの実施形態を示すブロック図である。

【図 2】

図 2 は図 1 に示される第 1 の端局装置の実施形態を示すブロック図である。

【図 3】

図 3 は図 1 に示される第 2 の端局装置の実施形態を示すブロック図である。

【図 4】

図 4 は図 2 に示されるマッハツェンダ型光変調器 (MZ 変調器) の動作点安定化の原理を説明するための図である。

【図 5】

図 5 の (A) 乃至 (D) は MZ 変調器におけるチャープパラメータの切換を説明するための図である。

【図 6】

図 6 は図 2 に示される装置の動作を示すフローチャートである。

【図 7】

図 7 は光ファイバの分散特性を示すグラフである。

【図 8】

図 8 の (A) 乃至 (C) は分散シフトファイバ (DSF) 及びプリアンプを用いた場合の伝送可能距離を説明するための図である。

【図 9】

図 9 の (A) 乃至 (C) は DSF、ポストアンプ及びプリアンプを用いた場合の伝送可能距離を説明するための図である。

【図 10】

図 10 の (A) 乃至 (C) はシングルモードファイバ (SMF) 及びプリアンプを用いた場合の伝送可能距離を説明するための図である。

【図 11】

図 11 の (A) 乃至 (C) は SMF、ポストアンプ及びプリアンプを用いた場合の伝送可能距離を説明するための図である。

【図 12】

図 12 は図 1 に示される第 1 の端局装置の他の実施形態を示すブロック図である。

【図 13】

図 13 は図 12 に示される変調器集積化レーザダイオード (MI-LD) の構

成を示す図である。

【図 14】

図 14 は M I - L D における出力光パワーと L D バイアス電流の関係を示すグラフである。

【図 15】

図 15 は減衰と印加電圧の関係を示すグラフである。

【図 16】

図 16 は M I - L D の動作特性を示す図である。

【図 17】

図 17 は M I - L D におけるチャープパラメータと印加電圧の関係を示すグラフである。

【図 18】

図 18 の (A) 及び (B) は図 12 に示される光送信機の動作の説明図である。

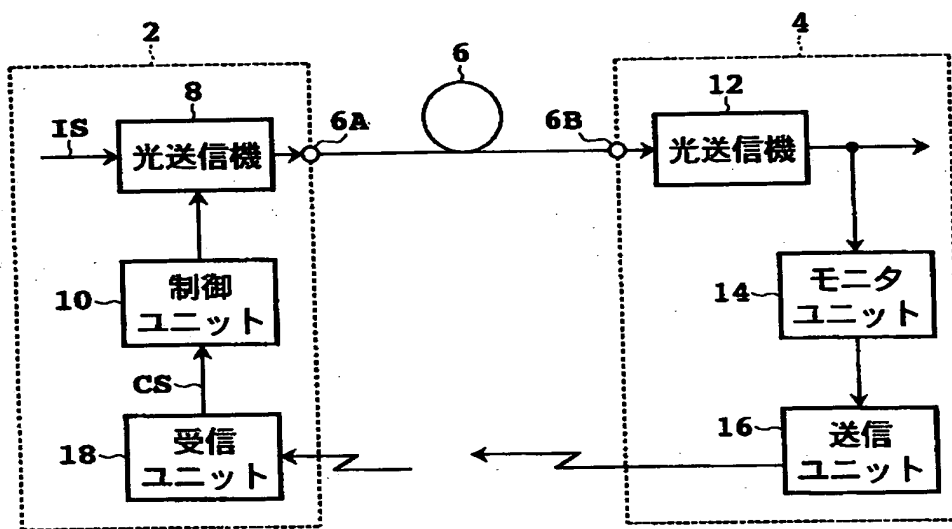
【符号の説明】

- 2 第 1 の端局装置
- 4 第 2 の端局装置
- 6, 80 光ファイバ伝送路
- 8, 78 光送信機
- 10 制御ユニット
- 12 光受信機
- 14 モニタユニット
- 16 送信ユニット
- 18 受信ユニット

【書類名】 図面

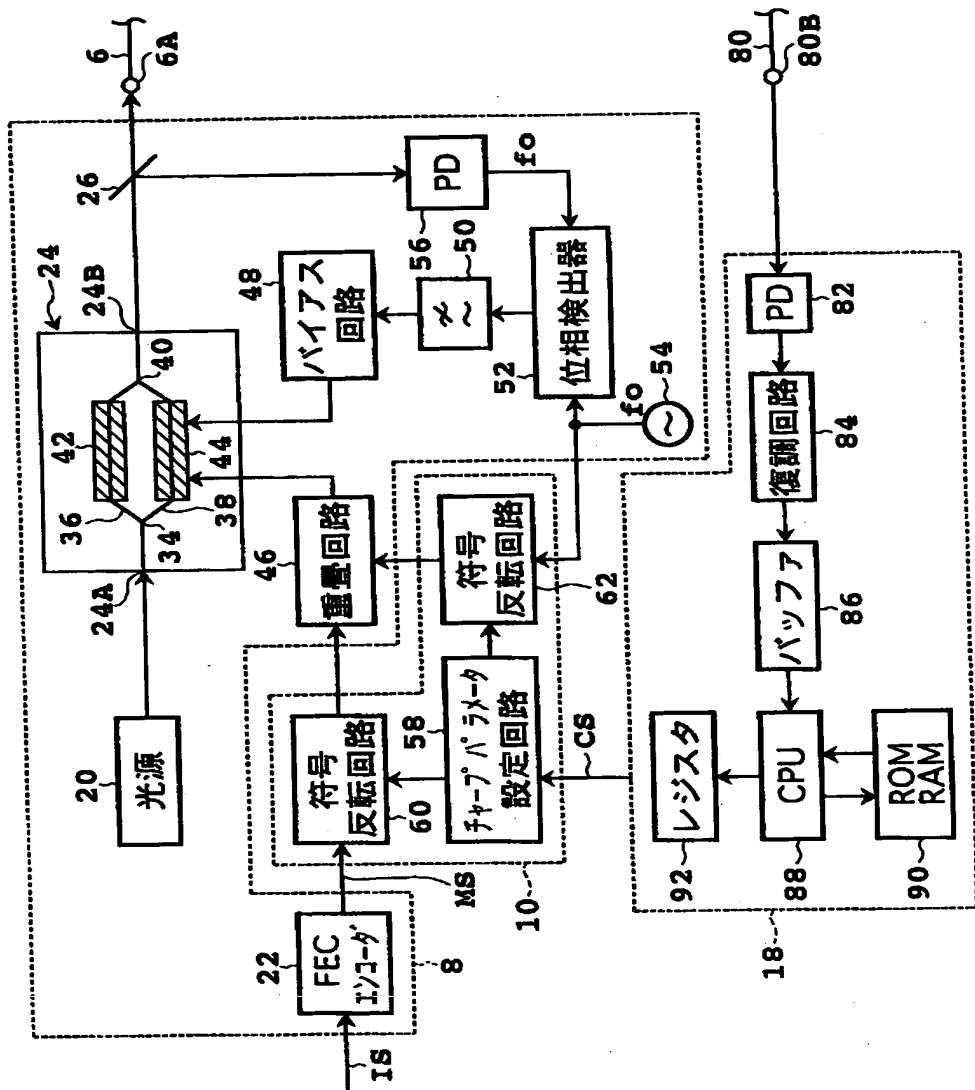
【図 1】

本発明によるシステムの実施形態を示すブロック図



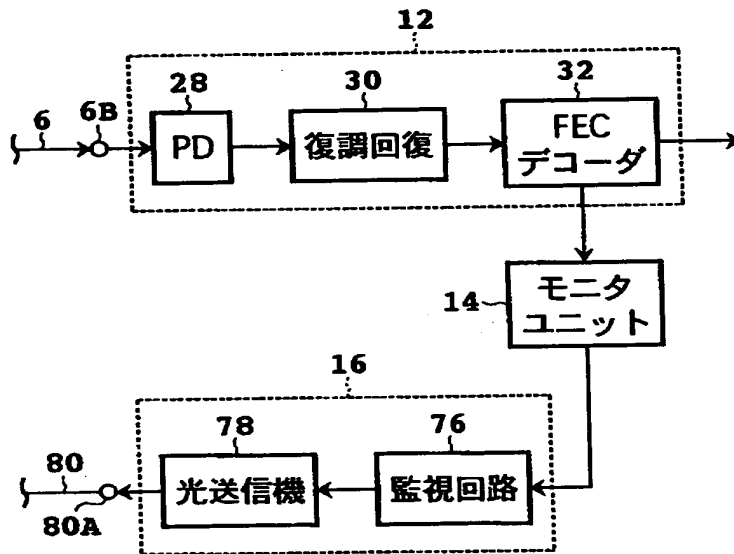
【図 2】

### 第1の端局装置の実施形態を示すブロック図



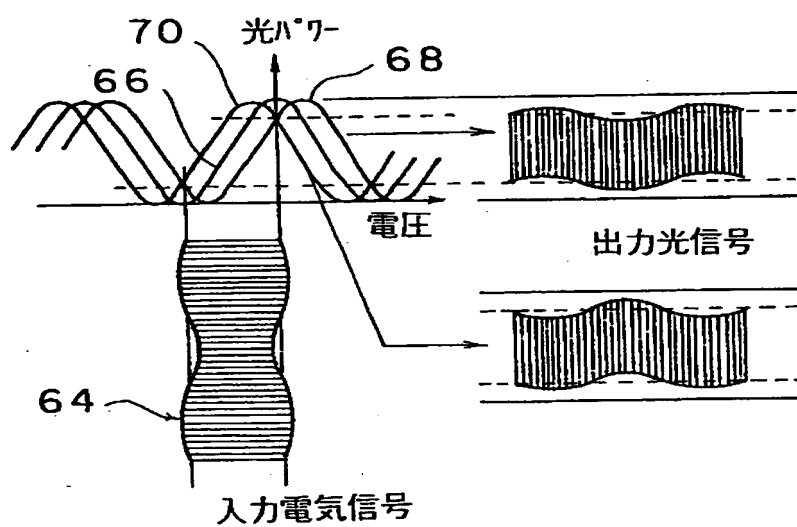
【図 3】

第 2 の端局装置の実施形態を示すブロック図



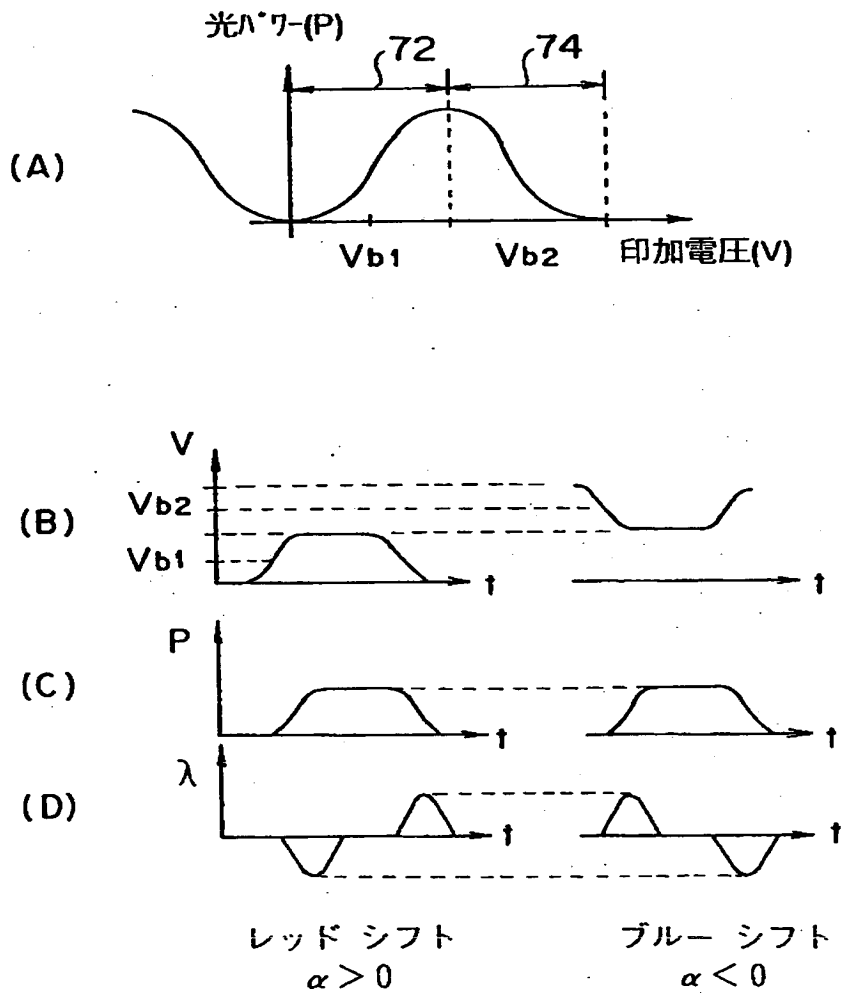
【図 4】

動作点安定化の原理を説明するための図



【図5】

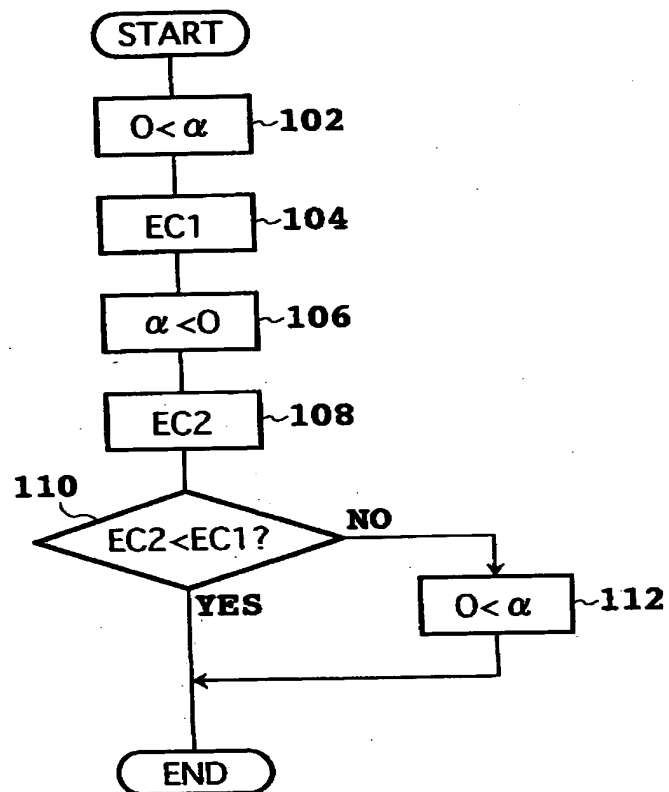
チャープパラメータの切替を説明するための図





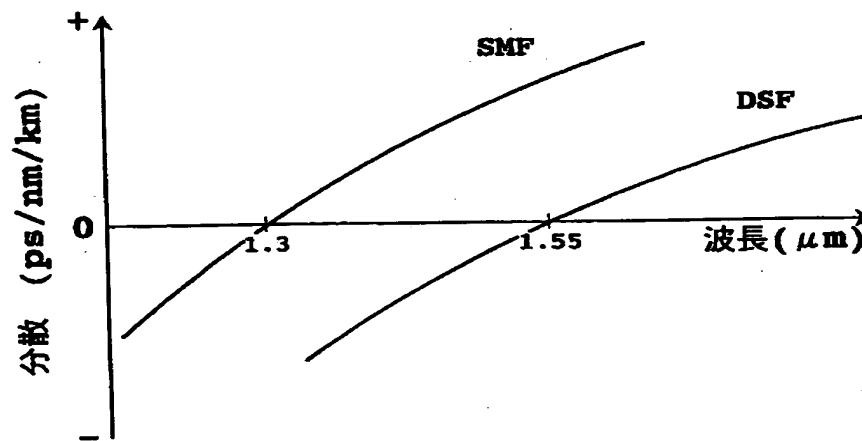
【図 6】

図 2 に示される装置の動作を示すフローチャート



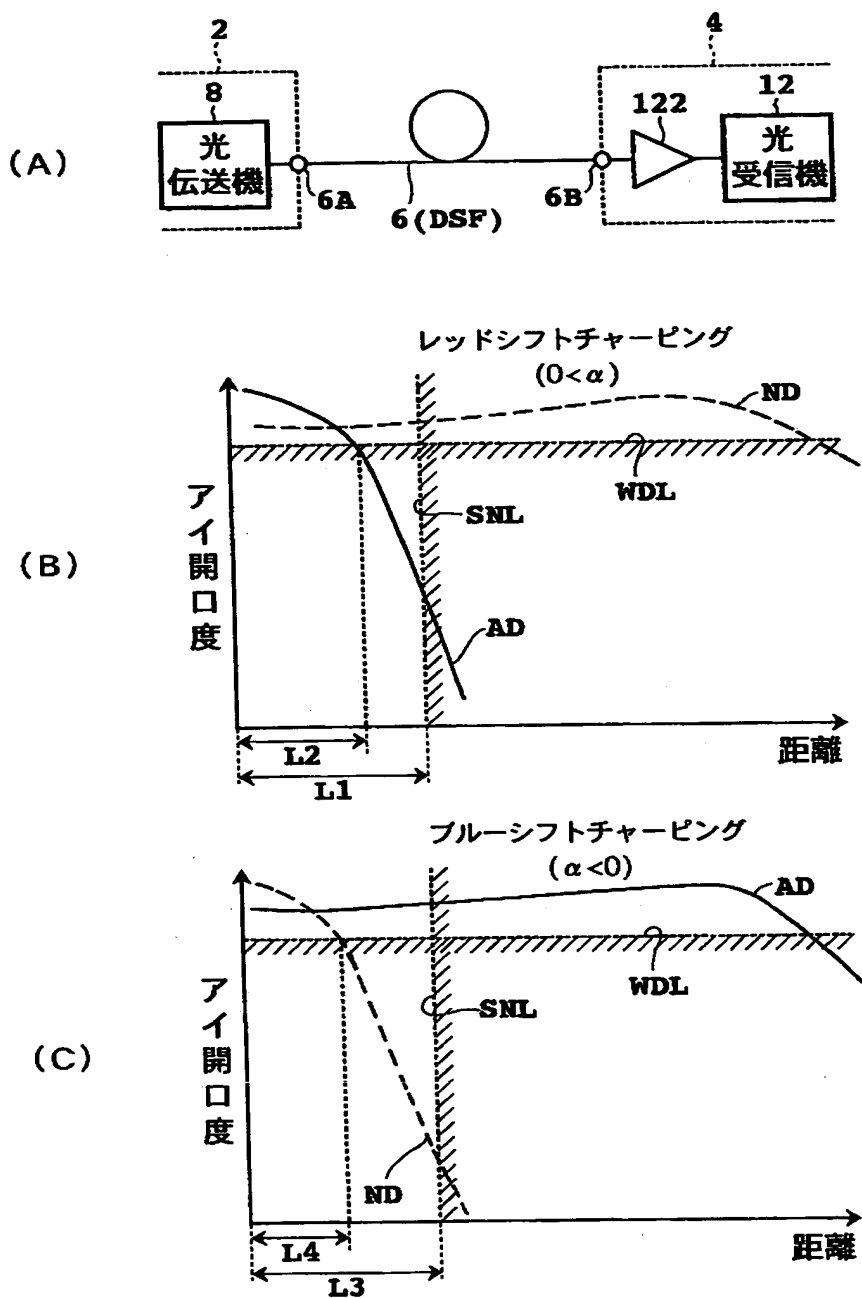
【図 7】

光ファイバの分散特性を示すグラフ



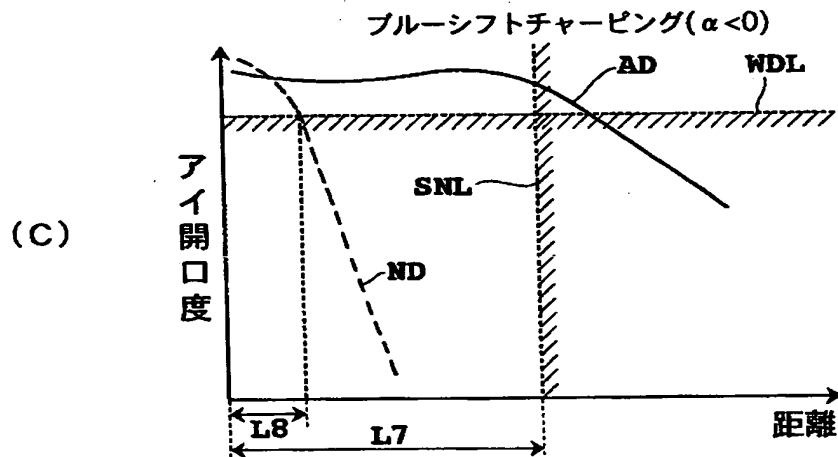
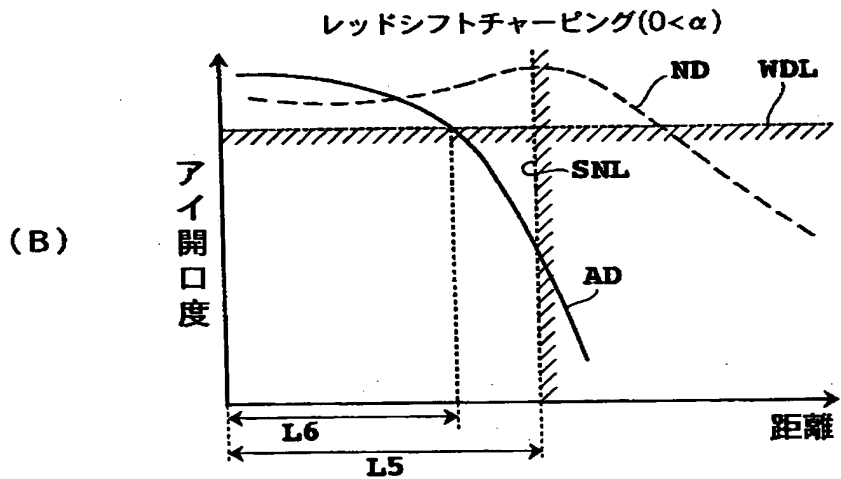
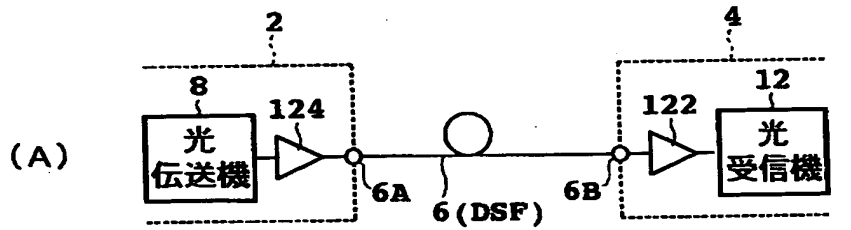
【図8】

DSF及びプリアンプを用いた場合の  
伝送可能距離を説明するための図



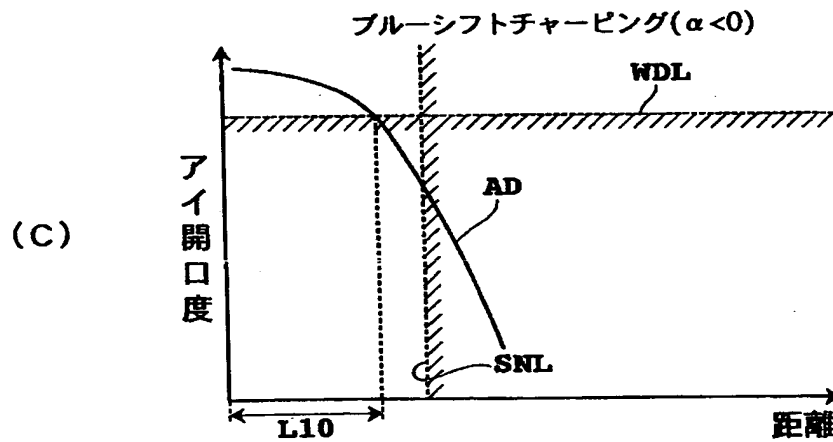
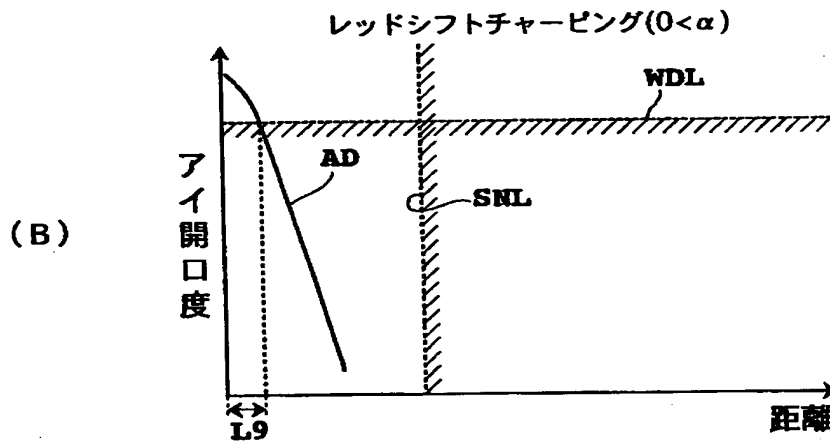
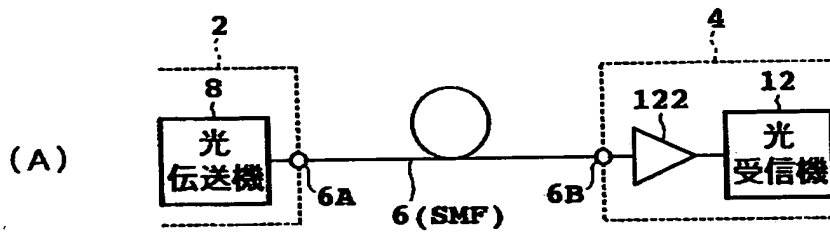
【図9】

DSF、ポストアンプ及びプリアンプを用いた場合の  
伝送可能距離を説明するための図



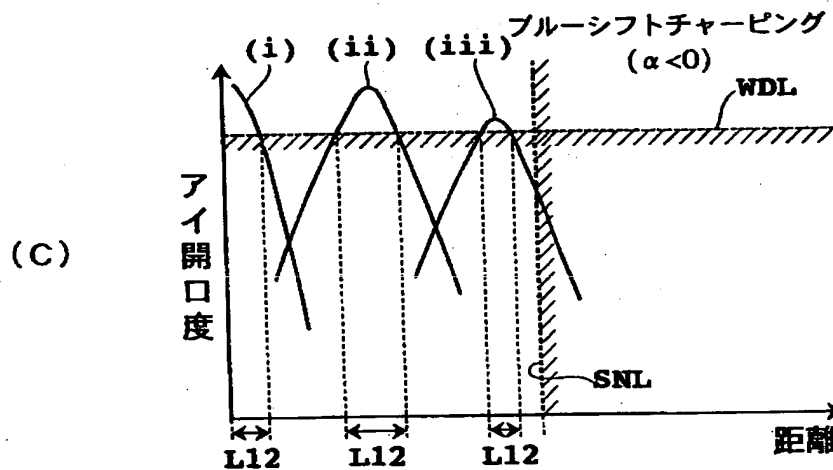
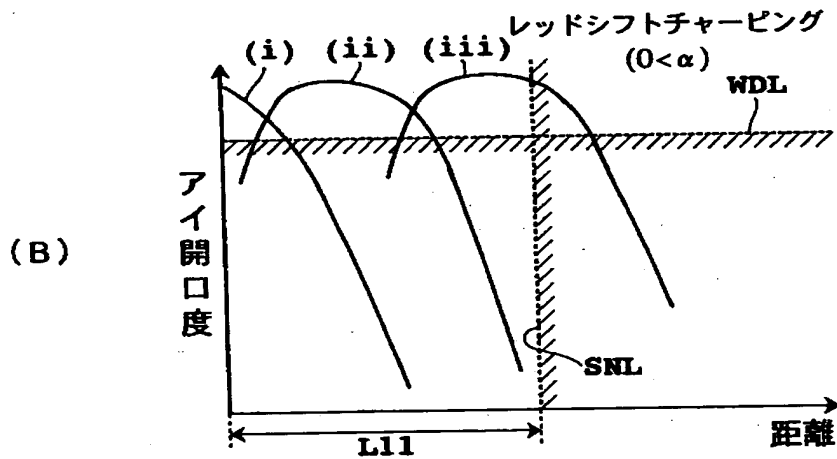
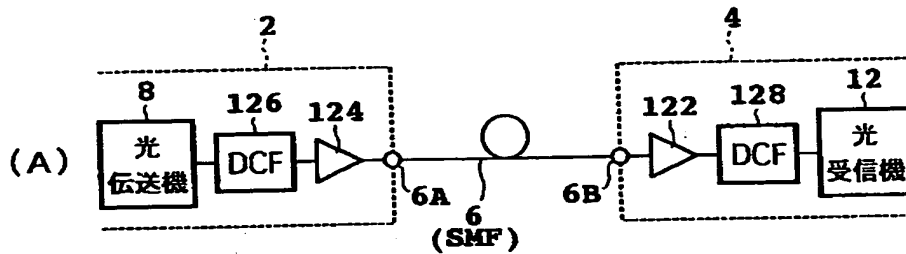
【図 10】

SMF 及びプリアンプを用いた場合の  
伝送可能距離を説明するための図



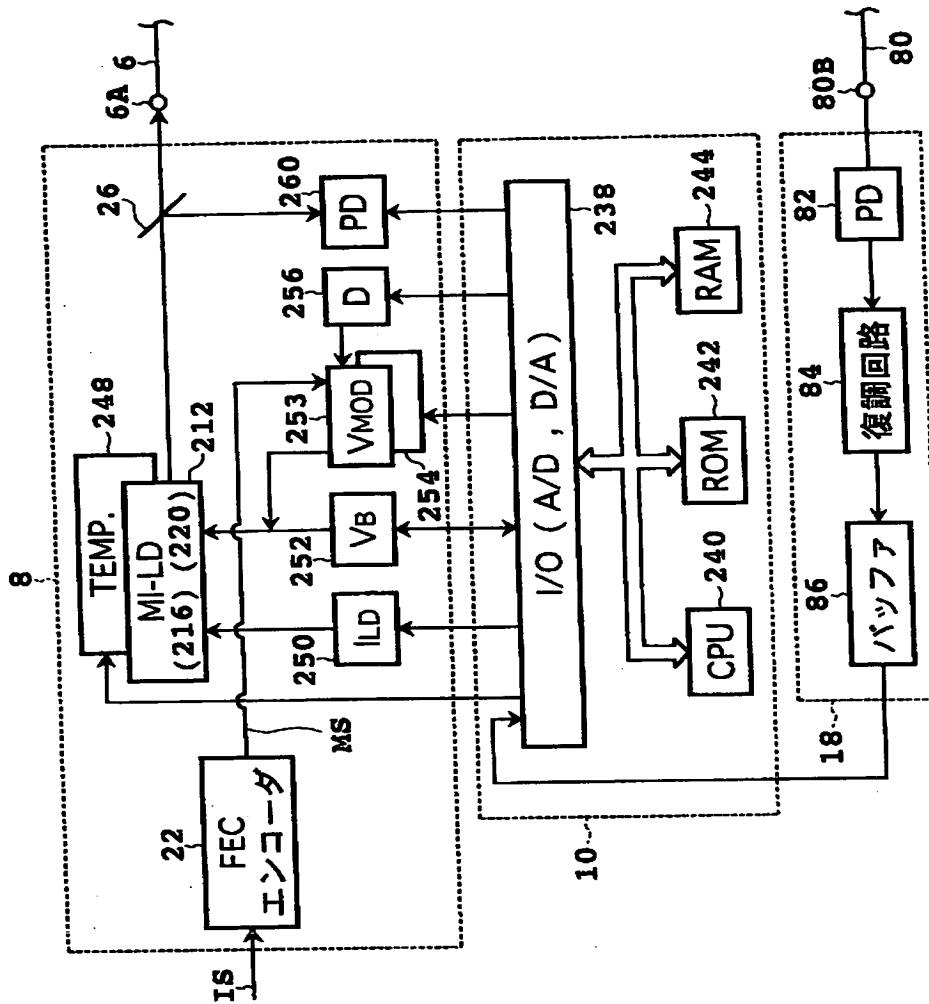
【図 11】

SMF、ポストアンプ及びプリアンプを用いた場合の  
伝送可能距離を説明するための図



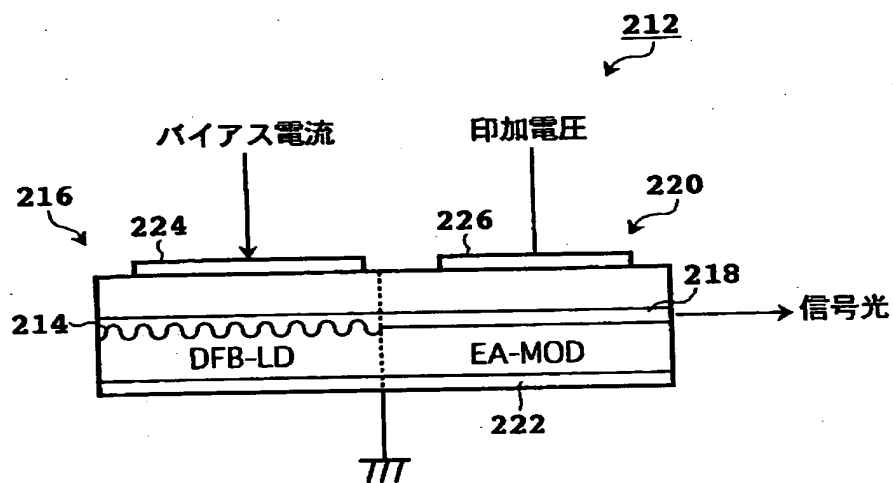
【図 12】

第 1 の端局装置の他の実施形態を示すブロック図



【図 13】

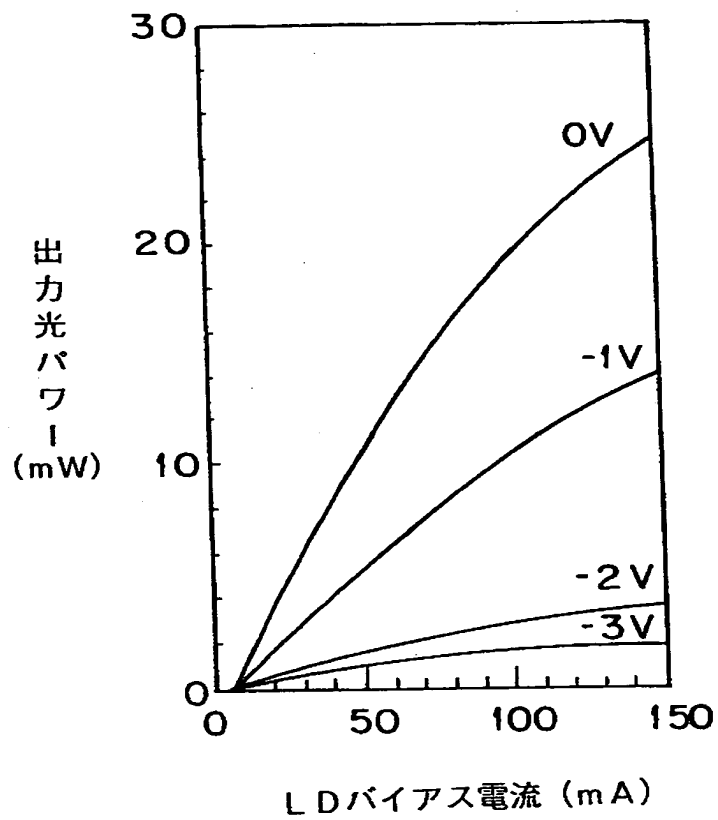
MI-LDの構成を示す図





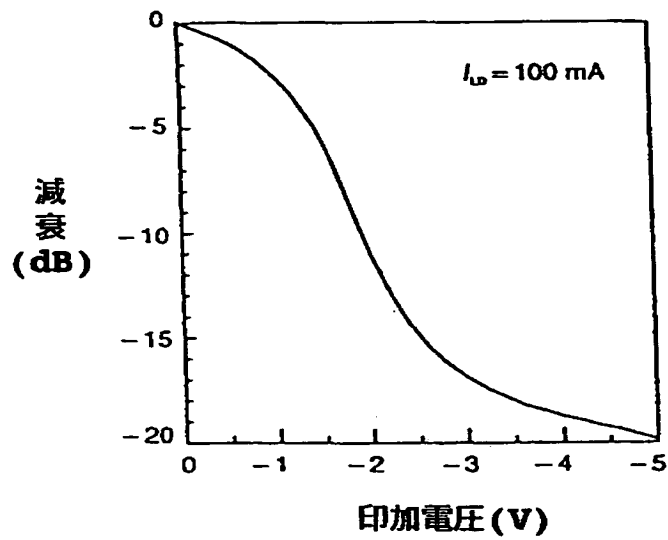
【図 14】

出力光パワーとLDバイアス電流の関係を示すグラフ



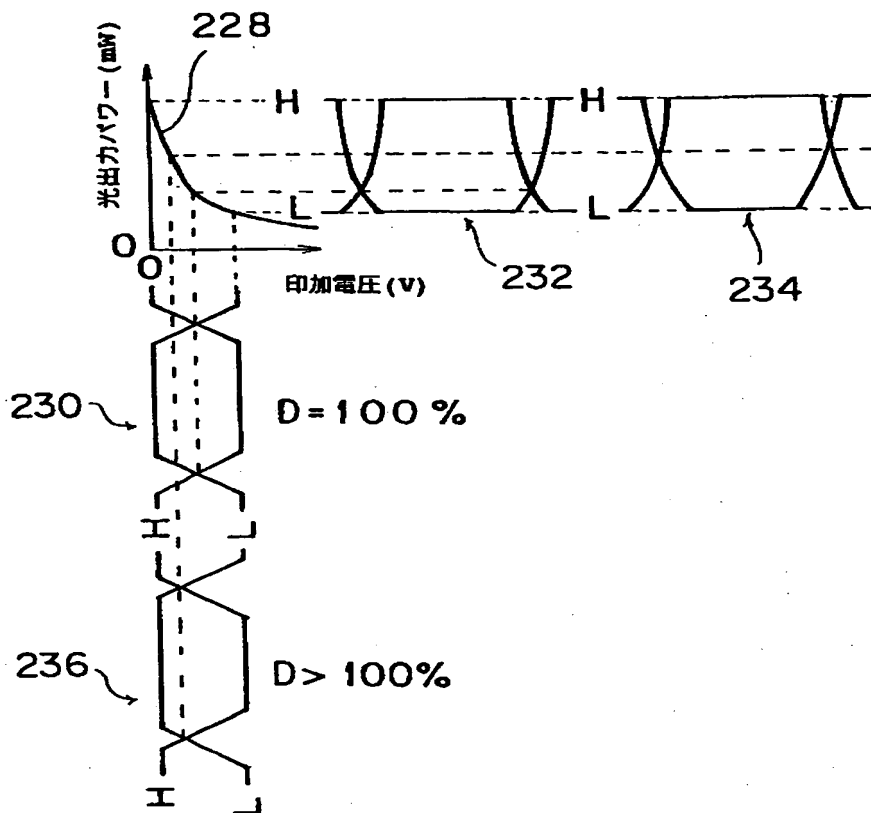
【図 15】

減衰と印加電圧の関係を示すグラフ



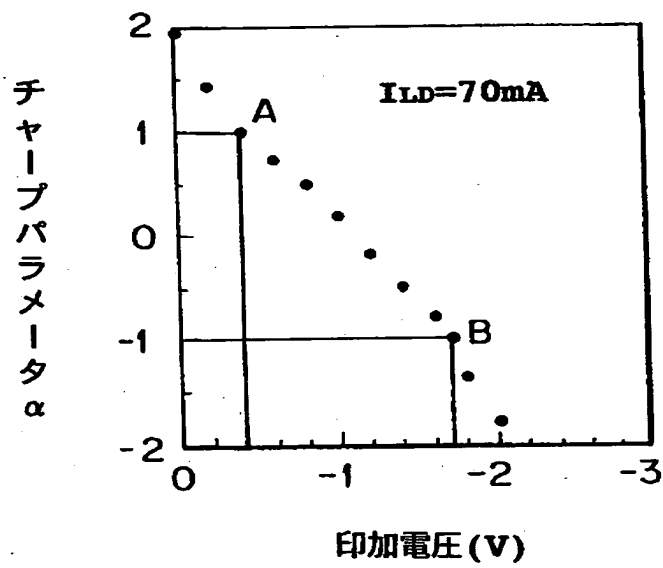
【図 16】

MI-LDの動作特性を示す図



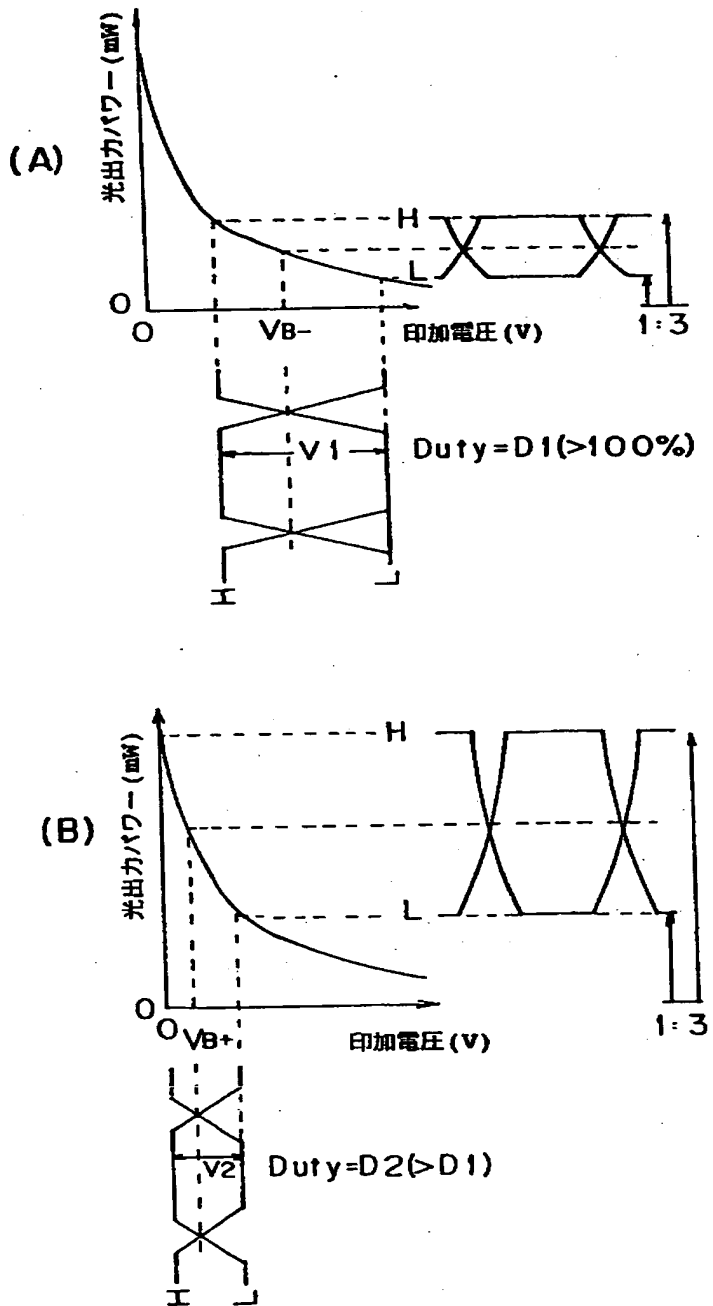
【図17】

チャープパラメータと印加電圧の関係を示すグラフ



【図 18】

図 12 の光送信機の動作説明図



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は光ファイバ通信のための方法並びに該方法の実施に使用される装置及びシステムに関し、波長分散及び非線形性の補償を課題としている。

【解決手段】 光ファイバ通信のための端局装置は、チャープパラメータにより決定されるチャープピングを有する光信号を光ファイバ伝送路 6 へ送出する光送信機 8 と、光ファイバ伝送路 6 により伝送された光信号に関連して検出される符号誤りに関する監視情報を受ける受信ユニット 18 と、監視情報に基づき、検出された符号誤りが減少するようにチャープパラメータを制御する制御ユニット 10 とから構成される。

【選択図】 図 2

【書類名】 職権訂正データ  
【訂正書類】 特許願

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】  
【識別番号】 000005223  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号  
【氏名又は名称】 富士通株式会社  
【代理人】 申請人  
【識別番号】 100075384  
【住所又は居所】 東京都港区赤坂6-10-8 ディーアイケイビル  
3階松本国際特許事務所  
【氏名又は名称】 松本 昂

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日 1996年 3月26日

[変更理由] 住所変更

住 所 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

氏 名 富士通株式会社